溜池の水生植物群落再生に関する生態的管理の効果

Effect of the Ecological Management on the Regeneration of the Aquatic Plant Community at the Irrigation Pond

山田 和司*** 中島 敦司* 溝口 恵史*** 緒方 京一*** 鈴木 武彦****
養父志乃夫*

Kazushi YAMADA Atsushi NAKASHIMA Satoshi MIZOGUCHI Kyoichi OGATA
Takehiko SUZUKI Shinobu YABU

Abstract : We controlled the ecological conditions of the irrigation pond of Sakasamaike in Manno park to regenerate of the aquatic plant community in order to inspect the effect of ecological management which was imitated the traditional methods. As a result, the improvement of the light condition of the water surface and underwater caused to the aquatic plant community expanding. And, being shallower of the water depth by the accumulation of sand mud exerted a similar influence. Similarly, the community extension speed of some aquatic plants appeared also according to the difference of the accumulation thickness of humus under the water quality being maintained in a state of poor nutrition. It was possible to recognize that the ecological character of those aquatic plant species became an indicator for evaluating the effect of community expansion.

Keywords: Irrigation pond, Aquatic plant, Community, Ecological management, Light condition

キーワード: 溜池, 水生植物, 群落, 生態的管理, 光条件

1. はじめに

景観工学を含む造園学の重要な役割のひとつに、地域生態系の保護に関わる知見と技術の提供という今日的な課題がある^{1,4,5,7,8)}。これは、造園学の分野がこれまでに取り扱ってきた修景や植栽の研究や実務の中で蓄積してきたデータや経験が、地域生態系の保護に極めて有用な指針になり得るという科学的な判断に基づいている。一方、造園文化史的な知見も、地域生態系の保護に有用である。これは、生態系が、気候や地質といった自然要因だけでなく、人間生活の影響を受けて成立しているからである^{8,9)}。

とはいいながら、これまでの造園学が、成立要因が複雑で多様な生態系を保護するために必要な生態学的な知見の大半をフォローできているわけでもない⁹⁾。造園学の課題として、様々な条件別、地域別のデータをこれまで以上に蓄積することが求められる。

本研究は、そのような造園学に対する社会的な期待の中、現状では十分とまでは言いきれない⁹⁾生態学的基本情報を獲得することを目的に行ったものである。そして、放置されたことで池底に腐植が厚く堆積し、浅水化が進み、池岸の立木の樹冠で浅水部が被圧された小規模な溜池とその集水域において、光条件の回復などを目指した生態的管理を実施し、その後の7年間のモニタリングデータを解析し、生態的管理が溜池の水生植物の群落再生に及ぼす効果を検討した。特に、全国的に荒廃の著しい溜池の水辺環境^{1,2,3,6)}を保護する際に必要な、水生植物の生態的特性について検討し、それを踏まえた群落保護の可能性について検討したので、結果を報告する。

2. 調査対象地

本研究は、香川県仲多度郡満濃町の国営讃岐まんのう公

園内の逆様池(写真1, 面積約900㎡)および集水域を含んだ自然生態園で行った。逆様池は、公園の造成前の1992年頃から地元の自然愛好家達に注目され始めていた古い放棄溜池で、当時から、様々な希少な水生植物の生育が確認されていた。公園設計の初期段階では、埋め立てられることが計画されていたが、地元住民との対話の中、1994年にミティゲーション目的で埋め立てを回避することとなった。しかし、その段階での逆様池は、放置されてから30年を経過しており、池岸の立木による水面の被圧、池底における腐植の厚い堆積、浅水化が確認された。そして、静置管理によって遷移段階を進行させてしまうことで、希少な水生植物群落を消滅させてしまう可能性が危惧された。

このため、希少な水生植物群落の保護目的で、元の地権者に対するヒアリング結果から得た、溜池として活用されていた昭和30年代の環境の復元を目指す積極策へと計画が修正され、公園来場者への公開を前提とした生態環境の保護対策と園路などの施設設置が設計に盛り込まれるようになった。

そして、1996年より、希少な水生植物が良好に生育する環境条件の回復を目的に、池と集水域の生態的管理を開始した。採用された方法は、かつての農事を模したもので、池岸に張り出した樹冠の伐採、池岸付近の浅水域を対象としたかい掘りによる池底に堆積した落葉落枝、腐植の除去、集水域内の樹林の間伐、落ち葉掻きなどである。年間6～10回に及ぶ生態学的なモニタリングを繰り返し、弾力的に生態的管理施工の内容を調整してきた(表1)。

3. 調査方法

本研究では、1994年から年1～3回の頻度で、初夏から初秋の時期に、逆様池内において目視で確認できる水生植物の種別の群落位置図を作成した。この画像データはドローソフトにて、植物種別のレイヤー分けを行って管理した。そして、種別の群落面積を各年で比較し、植物種別の群落拡大、縮小について、前年よ

写真1 逆様池全景
(2002年4月)

*和歌山大学システム工学部 ** (社)日本緑化センター ***公園緑地管理財団 ****国土交通省国営讃岐まんのう公園工事事務所

表－１ 逆様池集水域で実施した生態管理と公園整備の履歴

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
池岸の 樹冠の伐採	堤体付近	1						
	池の左岸				1			
	池の右岸				1			
	源頭部				1			
池岸の 下刈り 落ち葉掻き	堤体付近	1	1	1	1	1	1	1
	池の左岸				1	1	1	2
	池の右岸				1	1	1	2
	源頭部				1	1	1	2
かい掘り	堤体付近	1	1	1	1	1	1	1
	池の左岸				1		1	
	池の右岸				1		1	
	源頭部				1		1	
ジュンサイ刈り	堤体付近				1	2	2	2
	池の左岸					1	1	2
	池の右岸					1	1	2
	源頭部				1		1	
源頭部のバキューム浚渫						1		
源頭部に沈砂池の整備						1		
上流谷部周辺の 立木伐採	北の谷				1			
	南の谷					1	1	
	東の谷					1		1
上流谷部斜面の 間伐・下刈り 落ち葉掻き	北の谷				1	1	1	2
	南の谷					1	1	2
	東の谷					1	1	2
上流谷部周辺の 園路整備	北の谷							1
	南の谷						1	1
	東の谷							1

1) 表内の数値は実施回数を示す

2) ジュンサイ刈りは池岸から2mの範囲で実施した

り10～20%の面積増減、それ以上の面積増減、10%未満を变化なしとし、群落面積の年次別の増減を5段階で評価した。

一方、逆様池において水生植物群落の拡大、縮小を規定する要因を明らかにする目的で、1999年～2001年の各年の9月上旬に、池の水面と水中での光量子密度と水温を水深10cmごとに測定し、あわせて同所の水の透明度を記録した。測定は、太陽高度と雲の影響を避ける目的で、晴天日の11:00～13:00の2時間に限定して行った。その値を元に、水面からの光の減衰率を求めた。測定は、池内の中央部の東西ライン上において2m間隔で行い、山陰や立木による影の影響が出ないように留意した。

また、1999年、2001年、2003年に、池の上流から下流に向けての中央縦断線に沿って、1m間隔で水深と水底に堆積した腐植厚を測量ポールによって実測した。2003年には、池内のジュンサイとナガエミクリがほぼ同じ水深に群落を成立させているにも関わらず、池内での群落位置が競合していないことが観察され、このことに水中の光量以外の要因が関わっている可能性が考えられたため、両種の群落と腐植が5cm以上堆積していた範囲の比較を行った。

その他、池岸付近10ヶ所の水質（EC、pH）を測定し、生態的管理の前後を通じ、ECが50～70μS/cm程度の貧栄養、pHで6.5程度の弱酸性の水質で、ほとんど変わらなかったことを確認した。

4. 結果および考察

表2に、各年に作成した群落位置図から求めた、面積を基準とした水生植物種別の増減傾向を整理した。これによると、1994年に確認された植物種はほとんどが貧栄養型の溜池で確認される

表－2 1994年から2003年の逆様池内の群落面積の増減

	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ヤナギスズバ	◎	▽	△	▲	▲	▽*	▽	△	▲
フトヒルムシロ	◎	→	△	△	→	▽	▽	→	→
ジュンサイ	◎	△	△	△	△	△	→	→	→
ナガエミクリ	○	▽	△	△	▲	→	△	▲	▲
マルバオモダカ	○	▽	△	△	→	▽	▽	△	→
シズイ	○	→	→	△	→	→	→	△	△
カンガレイ	○	→	→	▽**	△	△	→	△	△
クログワイ	○	→	→	▽***	→	→	→	→	→
ヒツジグサ	○	▽	△	△	→	▽	▽	△	△
シャジクモ s p	○	▽	△	△	△	→	→	▲	→
アギナシ	○	▽	△	△	△	→	→	→	△
コマツカサススキ	○	→	→	→	→	▲	→	→	→
ミズユキノシタ	○	→	→	▲	▽	▽	→	→	→
ミズハコベ				★	△	▽	→	△	→
ヒシ				★	→	▲	→	→	→
コナギ				★	→	→	→	▽	→
イヌタヌキモ				★	▲	▲	→	△	▲
ガマ					★	△	→	→	→
スイラン					★	→	→	→	→
ミズオオバコ						★	▲	△	△
イトイヌノヒゲ						★	▲	△	△
ニッポニンヌノヒゲ							★	△	△

- 1) 前年と比較して面積比で、▲：20%以上生育範囲拡大、△：10～20%生育範囲拡大、→：生育範囲の拡大/縮小10%以内、▽：10～20%生育範囲縮小、▼：20%以上生育範囲縮小、★：新規確認
- 2) 1994年度に、○：散見された種、◎：多見された種
- 3) *：2000年度のヤナギスズバの*は、生育範囲の縮小ではなく生育悪化
- 4) **：1988年度のカンガレイ、クログワイの減少は源頭部の浚渫による
- 5) ***：1997年度は堤体付近のモデル試験区での増減（増加）を示した、クログワイはモデル地区では1997年には確認されていないが、他所での増減を結果に示した

種であり³⁾、その群落の大半が、生態的管理の実施後から拡大傾向にあることが分かる。とりわけ、ジュンサイ、ナガエミクリ、ヤナギスズバの群落は著しく面積を拡大し、ミズオオバコなど、植生管理の実施後になって新たに確認された種もあった。

生態的管理によって大幅に変わった環境条件は、水中に到達する光量であった。これは、池岸に覆いかぶさっている樹冠を伐採したことで、池上流の放棄水田と集水域の斜面樹林の整備によって上流での濁水の発生と池内への流入を抑制した結果と考えられる。水面での光量の増加と濁水の流入防止による透明度の増加は、連鎖的に水中内に到達する光量も増加させ、これによって、ジュンサイ、ナガエミクリ、ヤナギスズバなどは、それまでよりも水深の深い位置にまで群落を拡大していったと考えられた。

図1に、水中での光条件別にみた群落の形成状況についての模式図を示した。これによると、ジュンサイが密生した範囲（写真2）では、それ以外の場所よりも同じ水深での水中光量が小さいことが確認され、ジュンサイは、逆様池において、水中での光条件を左右する存在と位置づけられた。池内の植生をみると、水深が1.5mよりも深い範囲では浮遊性のイヌタヌキモとヒシ以外の生育は確認されなかった。イヌタヌキモは、水深の違いに関わらず、池内の全域で確認された。1.5m以下の水深では、水深別で優占種が変化した（図1）。このことは、水底への到達光量と関係があると考えられた。上流部の範囲では、ジュンサイが密生したが、同じ1.0mまでの水深の範囲であっても、下流の堤体付近ではナガエミクリが密生した（写真3、4）。

その要因として、下流の堤体付近では、連年、かい掘りを実施していることが関係し

写真－2 密生したジュンサイ
(2002年8月)

図－1 水中での光条件と群落の形成状況（2000年9月，到達光量は水面を100とした相対値）

エリア別の植生（下線は優占種）a：ヤナギスプタ，ジュンサイ，シズイ，イヌタヌキモ，b：ナガエミクリ，ヤナギスプタ，ジュンサイ，c：ジュンサイ（粗生），ヒツジグサ，ナガエミクリ，イヌタヌキモ，d：ヒシ，イヌタヌキモ，ジュンサイ，e：ジュンサイ（密生），ヤナギスプタ，イヌタヌキモ，f：カンガレイ，ジュンサイ，ヤナギスプタ，クログワイ，ヒツジグサ，g：ヒツジグサ，ジュンサイ，ヤナギスプタ，h：フトヒルムシロ，ジュンサイ，マルバオモダカ，i：ヤナギスプタ，ミズオオバコ，ミズユキノシタ，ジュンサイ，カンガレイ，ヒツジグサ

写真－3 密生したナガエミクリ（2002年8月）

写真－4 ナガエミクリの沈水群落（2002年8月）

写真－5 同じ水深でのナガエミクリとジュンサイの棲み分け（2002年8月）

ており（図2，3，写真5），それよりも水深の深い範囲ではジュンサイは生育したもののナガエミクリは確認されなかった。このことは，腐植の堆積している場所では池岸付近の浅水部の水中の光条件の回復のために実施したジュンサイ刈り（表1）によってもナガエミクリの生育は特に良くならないことを示している。したがって，ナガエミクリは，かい掘りによる腐植の除去によって群落を拡大する可能性が高いと考えられた。このことは，ナガエミクリが湧水池で確認されることが多い³⁾ことや，ジュンサイが腐植栄養型の池に多いこと^{1,3)}を裏付ける結果である。したがって，ナガエミクリとジュンサイは，同じ浅水部であっても光条件や腐植の堆積厚では競合しない関係にある可能性が認められた。

一方，表2によると，1999年7月の集中豪雨で発生した，砂泥を大量に含む濁水が池内に流入した翌年，1997～1998年に一旦は拡大したマルバオモダカ，ヒツジグサ，ヤナギスプタの群落は，さらに水深の浅い範囲に後退した。その後，上流部に沈砂池を設けるなどして池内への砂泥や落葉落枝の流入防止に努めた後はシルトなどによる池水の濁りもなくなり，それ以降，群落は徐々に回復傾向となった。このため，池底に砂泥，特にシルトが堆積すると，シルトのまき上がりなどが発生し，幼植物の葉に堆積し，初期生育は抑制される可能性が考えられた。しかしながら，2003年の段階でも，マルバオモダカ，ヒツジグサの群落は1997年のレベルにまでには回復しなかった。さらに，両種とも，1994年と1997年の調査時に生育が確認された場所とは別の場所で新たに群落を形成していた。旧群落と新群落の条件の経年的な違いは，腐植の堆積厚と考えられた。旧群落は，腐植が10cm以上も厚く堆積した場所が中心であったが，新群落は腐植がほとんど堆積していない，あるいは，かい掘りで腐植が除去された場所において確認された。旧群落の位置では，その後は腐植底質を好むジュンサイ³⁾が密生した。

一方，新群落でのマルバオモダカ，ヒツジグサの個体は，年間を通じて大きく成長しないことが観察された（写真6）。このような小型の個体は，ジュンサイの浮葉下でも，水深30cmまでの浅水域で散見されたが，いずれも水面に浮葉，抽水するまでは成長せず，その結果，開花，結実に至らなかった。一方，旧群落ではそのようなことはなく，多くの個体が開花，結実していた。また，逆様池の近隣に位置する，マルバオモダカ，ヒツジグサが生育する，生態的管理を実施する以前の逆様池のような状況にある放置された溜池では大型の

写真－6 生育不良のヒツジグサ（2002年8月）

図－2 腐植の堆積範囲（■，太線）とジュンサイ（■），ナガエミクリ（■）の群落の範囲（2003年8月，腐植の堆積範囲は5cm以上で判断）

図－3 ジュンサイ（密生■，粗生□），ナガエミクリ（●）群落における水深と腐植の堆積厚（2003年8月）

ていると考えられた。そこで，かい掘りによって改変される条件が腐植の堆積であると仮定し，腐植の堆積範囲と，ジュンサイ，ナガエミクリの群落位置の関係を図2に，両種の確認位置の水深と腐植の堆積厚を図3に整理した。これによると，両種は，同じ1m程度までの浅い水深の範囲では腐植の有無によって棲み分け

開花個体を確認している。

これらの状況から考えられたことは、第一にジュンサイは、他種よりも水深が深い場所でも生育可能であるが、腐植が堆積する浅水域ではマルバオモダカ、ヒツジグサとジュンサイは競合するということである。3種とも同じような光環境で群落を形成するが、ジュンサイの成長開始時期が両種よりも1ヶ月程度も早いことで、同所では両種は被圧され、ジュンサイが場所を占領すると考えられた。第二として、いずれの種とも、池岸に樹冠が張り出すような条件では光不足になる可能性が高いということである。第三としては、3種とも腐植が堆積した場所で個体を大きく成長させるということである。ところが、前述のように、腐植の堆積していない場所では、ジュンサイは群落を形成せず、このためにマルバオモダカ、ヒツジグサは生態的管理で水面が明るくなったことを利用して新群落を形成できたが、腐植が少ないために個体を大きく成長できなかったと考えられた。したがって、3種は、溜池の環境として、ほぼ同じ場所で、腐植の堆積状況に応じた異なる遷移段階で、群落を拡大する種、つまり生態的管理を行わない限り、同時に同所に存在しにくい種と考えられた。

写真7 密生したヤナギスブタ (2002年9月)

写真8 沈砂池で密生したヤナギスブタ (2002年9月)

これに対し、濁水の流入で、一旦は群落面積を狭めたヤナギスブタは、その後は徐々に群落を回復し、2003年の段階では腐植が堆積していない水深50cmまでの範囲で水底を覆い尽くす密生群落を形成していることが確認された(写真7)。また、ヤナギスブタは、腐植の堆積していたジュンサイの浮葉群落下でも群落を形成したが、その群落密度は植被率5%を下回った。その一方では、逆様池の源頭部に隣接する沈砂池において密生群落を形成した(写真8)。この沈砂池は、水深30cm程度、開放的で、腐植は10cm以上堆積していた。これらのことから、ヤナギスブタは腐植の堆積厚の違いに関わらず密生群落を形成したことになる。したがって、ヤナギスブタは、明るい光条件によって群落再生される種で、温水田のような浅水環境を生育適地とする種と考えられた。ミズオオバコも同様の種だと考えられた。つまり、溜池では、砂泥の堆積で浅水化が進んだ際、温水田のような環境が短い期間出現し、その段階に群落を一時的に形成する種が生育する時期があると考えられた。

前述のように、生態的管理の実施後に出現した種が存在したが、これらは、上流の3本の谷を攪乱したことで、そこからの埋土種子が逆様池内に流下して発芽した可能性が考えられた。ヤナギスブタやミズオオバコは、これに該当するものとみられた。しかし、本件を検証することは、本研究の範囲内では行えなかった。

以上のことから、大方向としては、池岸の樹冠伐採や集水域内の斜面立木の間伐、落ち葉掻き、池のかい掘りといった、かつて普通に行われていた農事を模した生態的管理によって、逆様池内

の水生植物の群落の再生は進むと考えられた。特に、光条件の回復と、池内への栄養分の供給を減らすことによる水質の貧栄養状態の維持の影響が大きいと考えられる。しかし、逆様池で確認された水生植物の中には、かい掘りによる腐植の除去までの貧栄養化を好まないジュンサイのような種も存在し、それらと好む種と混在させるためには、かい掘りの範囲を制限することも有効な方法であろう。つまり、逆様池は、放置された期間が30年以上も存在したため、開発を計画した時点ですでに異なる遷移段階で発生する種が混在していたとみられる。このため、生態的管理の効果の大きさや効果が現れるまでの速度は全ての種を通じて一様にならなかった。

5. おわりに

本研究の結果、かつての農事を模した生態的管理、とりわけ、水中における光条件の回復と維持につながる行為は、溜池における水生植物群落の形成に効果があると考えられた。しかし、水底に堆積した腐植に依存する種と、そうでない種が混在したり、生態的管理の効果の程度、効果が現れるまでの速度は種ごとで同じにならないと考えられた。その理由として、放置された溜池では、異なる遷移段階で発生する種が同時に混在する場合が少なくないことがあげられる¹⁻³⁾。そして、異なる遷移段階で発生する種を、同じ時期に混在させるためには、溜池内の条件を多様にする必要があるが、逆様池のように面積的に狭い範囲に異なる遷移段階をいくつも同時に混在させることは、それぞれの遷移段階別に割り当てられる面積を非常に狭くし、不自然な生態系を成立させる可能性にもつながる。少なくとも、異なる遷移段階を同時に同所に混在させる保護対策が、その場における生態系の保存あるいは保全において妥当であるかどうかは、モニタリング結果によって決められるべきことである⁵⁾。なお、生態系には、目に見える個体だけでなく、今回の研究でも確認されたミズオオバコのように、埋土種子のような様態の多様性もある⁵⁾ので、その場、その時期に相応しい状況を意識しながら生態的管理の方針を決めるべきであろう。

引用文献

- 1) 江崎保男・田中哲夫(1998): 水辺環境の保全: 朝倉書店, pp220
- 2) 浜島繁隆(2001): ため池の自然—生き物たちと風景: 信山社サイテック, pp231
- 3) 角野康郎(1994): 日本水草図鑑: 文一総合出版, pp179
- 4) 森誠一(2003): 環境保全学の理論と実践Ⅲ: 信山社サイテック, pp188
- 5) 森本幸裕・亀山章(2001): ミティゲーション—自然環境の保全・復元技術—: ソフトサイエンス, pp354
- 6) 日本地形学連合(1998): 水辺環境の保全と地形学: 古今書院, pp186
- 7) 沼田眞(1996): 景相生態学 ランドスケープ・エコロジー入門: 朝倉書店, pp178
- 8) 杉山恵一・進士五十八(1992): 自然環境復元の技術: 朝倉書店, pp170
- 9) 養父志乃父(2002): 自然生態修工学入門: 農山漁村文化協会, pp161